



Utökad biologisk nedbrytning med rörliga bärare av läkemedel och ett urval av ramdirektivets prioriterade ämnen

Falås, Per; Hörsing, Maritha; Eriksson, Eva; Ledin, Anna; Olsson, Mikael Emil; Jansen, Jes la Cour

Publication date:
2015

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Falås, P., Hörsing, M., Eriksson, E., Ledin, A., Olsson, M. E., & Jansen, J. L. C. (2015). *Utökad biologisk nedbrytning med rörliga bärare av läkemedel och ett urval av ramdirektivets prioriterade ämnen*. Svenskt Vatten Utveckling.

General rights

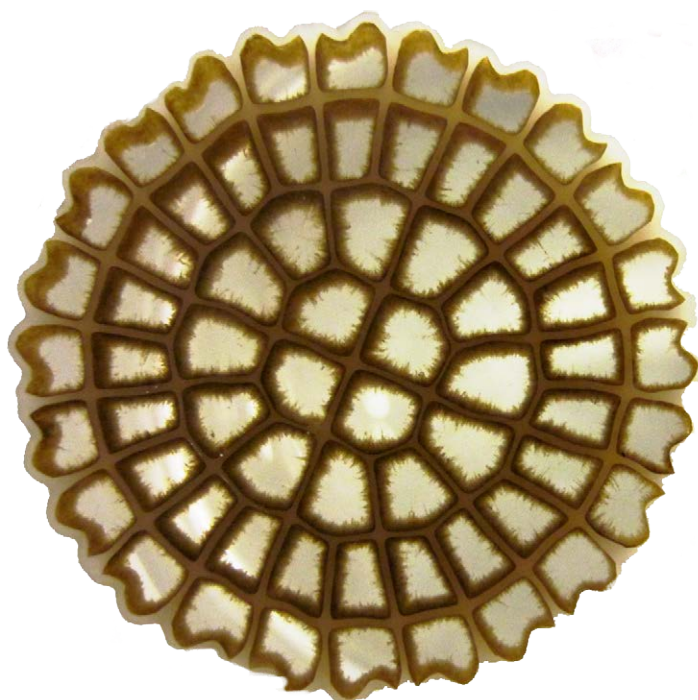
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Utökad biologisk nedbrytning med rörliga bärare av läkemedel och ett urval av ramdirektivets prioriterade ämnen

*Per Falås
Maritha Hörsing
Eva Eriksson
Anna Ledin
Mikael E. Olsson
Jes la Cour Jansen*



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Rörsnät & Klimat
Avlopp & Miljö
Management

SVU styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Agneta Granberg (m), ordförande	Göteborg
Daniel Hellström, utvecklingsledare	Svenskt Vatten
Henrik Aspegren	VA SYD
Per Ericsson	Norrsvatten
Tove Göthner	Sveriges Kommuner och Landsting
Per Johansson (s)	Gävle kommun
Stefan Johansson	Skellefteå kommun
Annika Malm	Kretslopp och vatten, Göteborgs Stad
Lisa Osterman	Örebro kommun
Kenneth M. Persson	Sydsvatten AB
Carl-Olof Zetterman	SYVAB

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 14057
167 14 BROMMA
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se
Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Utökad biologisk nedbrytning med rörliga bärare av läkemedel och ett urval av ramdirektivets prioriterade ämnen
Title of the report:	Removal of pharmaceuticals and some selected substances prioritised in the framework directive in moving bed biofilm reactors
Författare:	Per Falås, Maritha Hörsing, Anna Ledin, Jes la Cour Jansen, Lunds Tekniska Högskola; Eva Eriksson, Mikael E. Olsson, Danmarks Tekniske Universitet
Rapportnummer:	2015-09
Antal sidor:	40
Sammandrag:	Tre pilotanläggningar med rörliga bärare har drivits med stor skillnad i belastning, men alla med nitrifikation i syftet att bedöma förmågan att ta bort mikro-föroreningar. Polycykliska aromatiska kolväten (PAH) sorberar starkare till de rörliga bärarna än förväntat och den biologiske nedbrytningen gick därför inte att kvantifiera. För vattenlösliga läkemedelssubstanser fanns i stort sett ingen skillnad i nedbrytningen som kunde förklaras av olika belastningar.
Abstract:	Three pilot scale plants with nitrification but with large difference in loadings have been operated for evaluation of the capacity for reduction of micro pollutants. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) showed high sorption to the carriers why the degradation could not be evaluated. For some soluble pharmaceuticals, no loading dependent difference in the reduction could be observed.
Sökord:	Ramdirektivets prioriterade ämnen, biologisk rening med rörliga bärare, sorption
Keywords:	Prioritised substances, biological treatment in moving bed biofilm reactors, sorption
Målgrupper:	Drift- och processansvariga vid avloppsreningsverk samt konsulter och leverantörer
Omslagsbild:	Rörlig bärare, K5 från AnoxKaldnes
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2015
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet Projektnummer:	11-107
Projektets namn:	Utökad reduktion av ramdirektivet för vattens prioriterade ämnen genom utökad biologisk rening i system med rörliga bärare
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling, VA SYD, NSVA, AnoxKaldnes AB och Lunds Tekniska Högskola

Förord

Implementeringen av Europeiska Unionens (EU:s) ramdirektiv för vatten går på högvarv och i direktivet finns en angiven lista med prioriterade ämnen som antingen ska fasas ut helt och ersättas av andra ämnen, eller där en reduktion i förekomsten måste ske innan de når vattenmiljön. Det finns dessutom en bevakningslista, tidigare kandidatlista, som innehåller ämnen som man överväger ska in på listan över prioriterade ämnen. Målet med ramdirektivet är att värna om våra vattenresurser och ekosystem.

Utveckling av avancerade tertiära behandlingsmetoder för rening av avloppsvatten med fokus på organiska mikroföroreningar pågår därför för fullt. Med tertiära behandlingsmetoder avses här kemiska oxidationsprocesser där till exempel ozon eller klordioxid används som oxidationsmedel, fysikaliska processer som sorption till aktivt kol och biologiska processer som användning av aktiv-slam och system med rörliga bärare.

Inom MISTRA programmet MistraPharmas första fas har Per Falås kartlagt de vid svenska avloppsreningsverks befintliga biologiska metodernas förmåga att reducera läkemedel, beroende på anläggningarnas processuppbyggnad. Per identifierade också vilka processuppbyggnader som är särskilt bra på att reducera läkemedel. Resultaten visade i korthet att ökad slamålder ger ökad reduktion. Men att detta inte är knutet till nitrifikation utan snarare att vissa bakterier som kräver lång slamålder har förmåga att väsentligt reducerar vissa läkemedel. Per visade dessutom att rörliga bärare kan reducera läkemedel som normalt sett är svårnedbrytbara i konventionella aktivslamanläggningar.

Syftet med projektet har varit att identifiera vilka av de prioriterade ämnena på EU:s ramdirektiv för vattens listor och som därmed är oönskade i utgående avloppsvatten, förväntas kunna tas om hand genom utökad vattenrening och vilka som kräver andra angreppssätt som till exempel genom uppströmsarbete. Syftet var också att genomföra en pilotstudie med fokus på biologisk rening med rörliga bärare för att kunna bedöma om denna metod kan användas som komplement till befintlig rening.

Projektet har genomförts av VA-teknik vid institutionen för Kemiteknik, Lunds Tekniska Högskola, Danmarks Tekniske Universitet, VA SYD, NSVA och med bra stöd till etablering och drift av pilotanläggningarna från AnoxKaldnes AB. Stor tack till alla som har medverkat till att pilotkörningarna blev lyckade. Också ett stort tack till Ester Heath, Mojca Zupanc och Tina Kosjek, Department of Environmental Sciences, Institute Jozef Stefan, Ljubljana Slovenia som har bidragit med analyserna av vattenlösliga läkemedelssubstanser.

Per Falås, Maritha Hörsing, Eva Eriksson,
Anna Ledin, Mikael E. Olsson, Jes la Cour Jansen

Innehåll

Förord.....	3
Sammanfattning.....	6
Summary.....	7
1 Inledning.....	8
2 Projektets syfte och genomförande	11
3 Ämnesval.....	13
3.1 Prioritering av ämnen baserad på kunskap om ramdirektivets ämnen och föreslagna ämnen härtill.....	13
3.2 Prioritering av ämnen baserad på analysresultat från avloppsreningsverk.....	15
3.3 Urval av fokusämnen	16
4 Försökuppställning och analysmetoder.....	18
4.1 Sjölanda avloppsreningsverk	18
4.2 Pilotanläggning	18
4.3 Försök med fokus/indikatorämnen	20
4.4 Analys av fokusämnen.....	21
5 Inkörning och drift av anläggningar med rörliga bärare	24
5.1 Resultat från pilotanläggning i drift.....	24
6 Resultat från experiment med reduktion av fokusämnen i anläggningar med rörliga bärare.....	27
6.1 Sorptionsexperiment med polycykliska aromatiska kolväten och fenoler	27
6.2 Experiment med vattenlösliga läkemedel	28
7 Slutsatser.....	30
8 Referenser.....	31
 Bilaga 1	 33

Sammanfattning

I ramdirektivet för vatten finns en lista med prioriterade ämnen som ska fasas ut eller minskas innan de når vattenmiljön. Vilka ämnen på listan kan avloppsreningsverken ta hand om och vilka bör hanteras genom till exempel uppströmsarbete? Avancerade metoder för avloppsvattenrening utvecklas i dag, bland annat biologiska processer som aktivt slam och system med rörliga bärare. Under MistraPharma-programmets första fas framgick det att reningsverk med rörliga bärare kan reducera läkemedel som är svårnedbrytbara i konventionella aktivslamanläggningar. Det visade sig också att lång slamålder i aktivslamanläggningar ger bättre reduktion än kort slamålder.

Syftet med det här projektet var att studera om kombinationen av rörliga bärare och låg belastning leder till ökad reduktion av några utvalda ämnena från ramdirektivets lista. Arbetet har genomförts av Lunds Tekniska Högskola, Danmarks Tekniske Universitet, VA SYD och NSVA, med stöd från AnoxKaldnes AB. Ämnena på prioriteringslistan samt några vattenlösliga läkemedel har valts för att utvärdera nedbrytningspotentialen. Försök har gjorts på Sjölanda avloppsreningsverk i Malmö i tre parallella pilotreaktorer med stor skillnad i hydraulisk uppehållstid och belastning. Långtgående nitrifikation uppnåddes i de tre anläggningarna med normal uppehållstid (1,5 timmar), med utökad uppehållstid (4 timmar) och med extremt lång uppehållstid (8–14 timmar). Anläggningen med normal uppehållstid uppvisade dock kortare perioder med genomslag av ammonium och högre halter av nitrit i det utgående avloppsvattnet än de två övriga som båda hade stabil och full nitrifikation. (Nitrifikation är en process där ammonium först oxideras till nitrit och nitrit därefter till nitrat.)

Nonylfenol, oktylfenol och en rad mindre polycykliska aromatiska kolväten (PAH) band så starkt till slammet och bärarna att det inte gick att utvärdera om de bröts ned. I praktiken förväntas de här substanserna minska kraftigt enbart genom inbindning till slam på reningsverk. Om ämnena ska tas bort från reningsverkens slam bör det med största sannolikhet ske genom uppströmsarbete.

Läkemedlen ibuprofen, ketoprofen och naproxen bröts ner ungefär lika fort som i tidigare studier, medan klofibrinsyra bröts ner betydligt snabbare. I stort sett fullständig reduktion av ibuprofen, naproxen, ketoprofen och klofibrinsyra kan förväntas i bäraranläggningar med både lång och mycket lång uppehållstid. Däremot verkar kontakttiden i en normalt belastad anläggning vara för kort för att säkerställa fullständig reduktion av läkemedlen. Utgående halter av en del läkemedel kan därför förväntas minskas ytterligare genom att öka uppehållstiden i system med rörliga bärare.

Summary

The European Frame Directive for Water includes a list of prioritised substances, that shall be substituted or phased out before they reach the water bodies. It also includes a so called watch list, with compounds that might end up on the priority list later on, depending on their occurrence in the aquatic environment. Thus, there is a need for evaluation of which substances that can be reduced in the treatment plants and those where reduction through source control are needed.

Methods for advanced tertiary treatment of pharmaceuticals have been developed within the first phase of the Mistra-programme MistraPharama. It was demonstrated that systems based on moving bed biofilm reactors are able to reduce pharmaceuticals, difficult to degrade in activated sludge systems. Furthermore, long sludge age (reduced load) in activated sludge systems are more efficient compared to short sludge age for reduction a number of pharmaceuticals

Information about the presence of prioritised substances was collected from Öresundsverket in Helsingborg, Lundåkraverket in Landskrona and Sjölanda Wastewater Treatment Plant in Malmö. Selected priority substances and some pharmaceuticals were chosen as focus substances. The reductions were evaluated with carriers from three pilot scale plants with nitrification but with large variation in hydraulic retention time and consequently also loading. The goal was to evaluate the potential for further reduction of prioritised substances and pharmaceuticals in moving bed biofilm reactors with reduced load.

Operation of the parallel reactors demonstrated that extended nitrification was obtained in all cases. The plant with the shortest hydraulic retention time (1.5 h) showed shorter period with breakthrough of ammonium and periods with elevated nitrite concentration whereas the two other systems with long (4 h) and very long (8–14 h) retention time showed constant stable nitrification. Due to the reduced load the biomass in the reactors with extended hydraulic retention time were much lower than in the plant with normal loading.

The selected prioritised substances nonylphenol and octylphenol together with a number of small polycyclic aromatic hydrocarbons sorbed extremely strong to the carriers and to the sludge at the carriers that no degradation could be demonstrated. Extended reduction of these substances in wastewater treatment plants are expected to take place alone through sorption. If these substances should be removed from wastewater sludge, source control measures have to be implemented.

The degradation rates of ibuprofen, ketoprofen and naproxen were similar to previous findings in all systems, whereas the rate of the metabolite clorfibric acid was much higher. The rates were high enough in the system with extended hydraulic retention time to secure extended reduction of all substances and the very long retention time do not seem to be motivated. Even the reaction rate of the carriers in the normal loaded plant was at the same level as the carriers from the system with long hydraulic retention time the contact time seems to be too short for extended removal. Consequently, it is expected that some pharmaceuticals can be reduced to low levels if extended treatment in moving bed biofilm reactors is implemented.

1 Inledning

Implementeringen av Europeiska Unionens (EU:s) ramdirektiv för vatten går på högvarv och i direktivet finns en lista med prioriterade ämnen (priority substances; [PS]). Dessa ska antingen utfasas helt och ersättas av andra ämnen, eller reduceras innan de når vattenmiljön. Det finns dessutom en bevakningslista med ämnen som kan komma upp på den prioriterade listan, beroende på deras förekomst i vattenmiljön. Målet med ramdirektivet är att värna om våra vattenresurser och ekosystemen.

Kunskapen om innehållet av PS i inkommande och utgående vatten vid reningsverk är begränsad, både då det gäller svenska reningsverk och generellt i Europa. I Svenskt Vattens rapport 2010-02 (Pettersson och Wahlberg, 2010) har en sammanställning gjorts över förekomst av PS i Stockholms reningsverk. Slutsatsen var att flera PS förekommer i mätbara koncentrationer i utgående avloppsvatten. Sexton PS förekom i så höga halter att de ska ingå den i emissionsdeklaration som verk >100 000 personekvivalenter (PE) är ålagda att redovisa i sina miljörapporter (NFS, 2006). Palmquist och Hanæus (2005) presenterade massflöden i grå- och svartvatten av 105 önskad ämnen från svenska hushåll, och av dem återfanns 71 över detektionsgränserna (ng till mg/L). Dock kunde inte de specifika källorna till de detekterade ämnena identifieras. I det dansk-svenska projektet ”Källsamarbetet” i Öresundsregionen, INTERREG IIIA Project “The Source Partnership”, var syftet att vid utsläppskällan reducera emissionen av miljö- och hälsofarliga ämnen till avloppsvatten (Källsamarbetet, 2011). Projektet fokuserade på att etablera ett nätverk av intressenter och att sprida kunskap om identifiering av utsläppskällor kopplade till avloppsreningsverk samt metoder för begränsningar av utsläpp uppströms reningsverket. Det ingick också mätningar av PS från reningsverken i Öresundsregionen. I EU-projektet Scorepp identifierades de främsta utsläppskällorna till olika PS närvaro i bland annat vattenmiljö (Lützhøft m.fl., 2009a och Lützhøft m.fl., 2009b). Produktionsanläggningar, hushåll, jordbruk, byggnader, byggarbetsplatser samt avfallsanläggningar blev identifierade som de väsentligaste källorna. Bara 17 % av källorna kunde beskrivas kvantitativt med emissionsfaktorer, ytterligare 19 % kunde relateras till andra typen av kvantitativa data. Kvantitativa emissionsdata kunde dock inte hittas för de återstående 64 %. Med Paris som modellstad studerade Gasperi m.fl. (2008) hur nederbörd påverkar flödet av 66 PS igenom reningsverk. De kunde fastställa att en rad PS förekommer i det inkommande avloppsvattnet. Vid uppehållsväder detekterades 33 PS och vid regnväder 40 st. Naturvårdsverket har tagit fram en lista med de ämnen i ramdirektivet som kan förväntas att ha nationell eller regional betydelse (Naturvårdsverket, 2008). Tolv ämnen kom med på listan var av åtta var organiska ämnen. Nonylfenol (industrikemikalie), oktylfenol (industrikemikalie), DEHP (ftalat- mjukgörare i plast) och PBDE (flamskyddsmedel) framhålls viktiga ur avloppsvattensammanhang samt polycykliska aromatiska kolväten (PAH (biprodukt vid förbränning),

endosulfan (konserveringsmedel/träskydd) och bensen (tillsats i bensin, lim, färg) var mer vanliga i dagvatten.

Det finns ett uttalat behov av att genomföra en systematisk målinriktad bedömning av vilka ämnen som avloppsreningsverken bör ta hand om genom avloppsvattensrening och slambehandling, och vilka PS vars spridning bör reduceras genom uppströmsarbete.

En sammanställning av all tillgänglig information rörande förekomsten av PS vid Öresundsverket i Helsingborg, Lundåkraverket i Landskrona och Sjölunda i Malmö har genomförts. Syftet var att identifiera den mest lämpade anläggningen för projektets pilotanläggning.

Utvecklingen av avancerade tertiära behandlingsmetoder för rening av avloppsvatten pågår för fullt. Med tertiära behandlingsmetoder avses här kemiska oxidationsprocesser där ozon eller klordioxid används som oxidationsmedel, fysikaliska processer genom sorption till partikulärt aktivt kol och biologiska processer genom användning av aktiv-slam och system med rörliga bärare "Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)". Inom MISTRA programmet MistraPharmas första fas har Per Falås kartlagt de vid svenska avloppsreningsverks befintliga biologiska processers förmåga att reducera läkemedel baserat på anläggningarnas processuppbyggnad och dels kartlagt vilka processer som är särskilt bra på att reducera läkemedel. Resultaten visar i korthet att hög slamålder ger bättre reduktion än en låg slamålder, men att detta inte är knutet till nitrifikation utan att vissa bakterier som kräver hög slamålder har förmåga att reducera vissa läkemedel (Falås m.fl., 2012a). Stor framgång har dessutom nåtts i försök med rörliga bärare för reduktion av läkemedel. Det har visats att rörliga bärare kan väsentligt reducera läkemedel som är svårnedbrytbara i konventionella aktivslamanläggningar (Falås m.fl., 2012b; Falås m.fl., 2013).

Det är i dag inte klarlagt vad som är orsaken till att MBBR har visat sig ha god kapacitet att reducera svårnedbrytbara läkemedel som diklofenak. Nitrifikationskapaciteten har viss betydelse, dock begränsad, och det verkar som om bärarnas potential för att fasthålla långsamtväxande bakterier (hög slamålder) har större betydelse för reduktion av PS. Genom att starta MBBR pilotskaleförsök och köra dem under olika betingelser studeras vad som är av betydelse för reduktionen av PS och hur reduktionen kan optimeras.

Ramdirektivet för vatten kommer att utvidgas med nya ämnen och i nuläget finns tio ämnen/ämnesgrupper på bevakningslistan (2015/495/EU). Fyra läkemedelssubstanser, diklofenak (smärtstillande), östradiol (naturligt könshormon), etinylöstradiol (halvsyntetiskt könshormon) och makrolid (antibiotika). De övriga är 2,6-ditert-butyl-4-metylfenol (smörjmedel, stabilisator i färg m.m.), 2-etylhexyl-4-metoxycinnamat (finns i solkrämer), metiokarb (pesticid), neonikotinoider (växtskyddsmedel), oxadiazon och triallat (herbicid). Från och med 2015/2016 är det obligatoriskt att analysera dessa ämnen i sjöar och vattendrag i EU:s medlemsstater. Vilka krav som sedan kommer att ställas är ännu oklart.

Bevakningslistan uppdaterades efter projektets experimentella genomförande och bara de tre första läkemedel som var med i den tidigare listan har ingått i prioriteringen. De fem regionala Vattenmyndigheterna arbetar bland annat med att ta fram åtgärdsprogram för perioden 2015–2021.

Dessa har precis varit ute på remiss hos bland annat kommunerna. Några av åtgärderna som riktar sig till Läkemedelsverket, Naturvårdsverket och Havs- och vattenmyndigheten kopplar till miljögifter och läkemedelsrester. Inom åtgärdsprogrammet för Havsmiljödirektivet finns en åtgärd föreslagen riktad till Naturvårdsverket som kopplar till miljögifter och avloppsvattenrening. Tanken är att de bägge åtgärdsprogrammen ska samordnas och stödja och komplettera varandra.

2 Projektets syfte och genomförande

Projektets syfte var att identifiera vilka av de PS som finns på EU:s ramdirektiv för vattens lista (inkl. ämnen på direktivets bevakningslista) som var oönskade i utgående avloppsvatten och därför bör reduceras genom vattenrening eller som hellre bör reduceras genom uppströmsarbete. Syftet var också att genomföra en pilotstudie med fokus på biologisk rening med rörliga bärare för att kunna bedöma om denna metod kan användas som komplettering till befintliga reningsprocesser. Konkret var målet här att utreda hur belastningsgraden påverkar bärarnas reduktionskapacitet med avseende på att reducera nivåerna av utvalda PS.

I projektets första fas fokuserades på att identifiera vilka PS som når avloppsreningsverken och som inte sorberas till anläggningarnas slam samt vilka som kan förväntas reduceras i vattenreningsprocessen. Bara de av ramdirektivets ämnen som når ytvatten genom reningsverken ingår i utvärderingen. För att identifiera lämpliga PS att fokusera på vid analyser av avloppsvatten sattes en rad kriterier upp och ett antal PS valdes som fokusämnen för pilotstudien.

De centrala kriterierna för urvalet var:

- Metaller utesluts då den biologiska nedbrytningen inte kan bidra till reduktion.
- Växtskyddsmedel tas bort då reningsverk inte utgör någon central källa för dessa till miljön.
- Ämnen som är under utfasning eller förväntas utfasade inom de närmaste åren utesluts, då de inte förväntas att förekomma i problematiska koncentrationer.
- Projektet fokuserar på vattenreningen och ämnen som adsorberar hårt till slammet utesluts. Fördelningen av ämnen mellan vattenfas och slam kommer att predikteras utifrån distributionskoefficienter (K_d/K_{ow}). För de läkemedel som är kandidater till ramdirektivets lista finns från MistraPharma-projektet också praktiska experiment med sorption till primärslam och biologiskt överskottslam och för andra ämnen finns bra litteraturvärde som kan ingå.
- Ämnen med hög affinitet för luftfasen, det vill säga gaser och flyktiga ämnen (baserat på K_H , Henrys lags konstant) bortvaldes då de förväntades att avdunsta under batchförsöken.
- Ämnena ska kunna analyseras med en acceptabel analysosäkerhet (noggrannhet) i de förväntade koncentrationsnivåerna.

Alla traditionella avloppsvattenanalyser gjordes på VA-teknik vid institutionen för Kemiteknik Lunds Tekniska Högskola. Merparten av de organiska mikroföroreningar analyserades på DTU Miljö, Danmarks Tekniske Universitet; medan vattenlösliga läkemedel analyserades på Department of Environmental Sciences, Institute Jozef Stefan, Ljubljana, Slovenien.

I denna fas valdes också Sjölundas avloppsreningsverk i Malmö som det bäst lämpade reningsverket för pilotstudier.

I den andra fasen ställdes en pilotanläggning (MBBR) upp, vilken tillhandahölls av AnoxKaldnes AB. Pilotanläggningen startades med bärare från en befintlig normalbelastad anläggning. Vid start bestämdas reduktionskapacitet för PS och bärarna fördelades på tre parallella pilotreaktorer; en med hög belastning, en med normal belastning och en med mycket låg belastning. Vid tillfällena fördelat över 3,5 månader togs bärare ut för laboratorieskalförsök i syfte att bestämma förändringen i reduktionskapaciteten för fokusämnen.

3 Ämnesval

3.1 Prioritering av ämnen baserad på kunskap om ramdirektivets ämnen och föreslagna ämnen här till

Ramdirektivet för vatten kommer att utvidgas med nya ämnen och i nuläget finns tio ämnen/ämnesgrupper på bevakningslistan (2015/495/EU). Fyra läkemedelssubstanser, diklofenak (smärtstillande), östradiol (naturligt könshormon), etinylöstradiol (halvsyntetiskt könshormon) och makrolid (antibiotika) är med. Bevakningslistan uppdaterades efter projektets experimentella genomförande och bara de tre första läkemedel som var med i den tidigare listan har ingått i prioriteringen. I tabell 3-1 finns ramdirektivets 33 ämnen samt de ämnen som ska bli föremål för översyn för eventuell identifiering som prioriterade ämnen eller prioriterade farliga ämnen. I tabell 3-2 finns en senare lista som beskriver vilka yttligare ämnen som kan vara intressanta.

Tabell 3-1 Prioriterade ämnen på vattenpolitikens område (2008/105/EG) samt ämnen som ska bli föremål för översyn för eventuell identifiering som prioriterade ämnen eller prioriterade farliga ämnen (*).

CAS-nummer	Det prioriterade ämnets namn
15972-60-8	Alaklor
120-12-7	Antracen
1912-24-9	Atrazin
71-43-2	Bensen
Ej tillämpligt	Bromerade difenyletrarivat
32534-81-9	Pentabromodifenyleter (kongener med numren 28, 47, 99, 100, 153 och 154)
7440-43-9	Kadmium och kadmiumföreningar
85535-84-8	Kloralkaner, C10–13
470-90-6	Klorfenvinfos
2921-88-2	Klorpyrifos (Klorpyrifosetyl)
107-06-2	1,2-diklorethan
75-09-2	Diklormetan
117-81-7	Di(2-etylhexyl)ftalat (DEHP)
330-54-1	Diuron
115-29-7	Endosulfan
206-44-0	Fluoranten (6)
118-74-1	Hexaklorbensen
87-68-3	Hexaklorbutadien
608-73-1	Hexaklorcyklohexan
34123-59-6	Isoproturon
7439-92-1	Bly och blyföreningar
7439-97-6	Kviksilver och kvicksilverföreningar
91-20-3	Naftalen
7440-02-0	Nickel och nickelföreningar
25154-52-3	Nonylfenol
104-40-5	(4-nonylfenol)

CAS-nummer	Det prioriterade ämnets namn
1806-26-4	Oktylfenol
140-66-9	4-(1,1',3,3'-tetrametylbutyl-fenol)
608-93-5	Pentaklorbensen
87-86-5	Pentaklorfenol
Ej tillämpligt	Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)
50-32-8	(Benso(a)pyren)
205-99-2	(Benso(b)fluoranten)
191-24-2	(Benso(g,h,i)perylene)
207-08-9	(Benso(k)fluoranten)
193-39-5	(Indeno(1,2,3-cd)pyren)
122-34-9	Simazin
Ej tillämpligt	Tributyltennföreningar
36643-28-4	(Tributyltenn-katjon)
12002-48-1	Triklorbensen
67-66-3	Triklormetan (kloroform)
1582-09-8	Trifluralin
1066-51-9	AMPA*
25057-89-0	Bentazon*
80-05-7	Bisfenol A*
115-32-2	Dikofol*
60-00-4	EDTA*
57-12-5	Fri cyanid*
1071-83-6	Glyfosat*
7085-19-0	Mekoprop (MCP)*
81-15-2	Myskxilen*
1763-23-1	Perfluorooktansulfonsyra (PFOS)*
124495-18-7	Kinoxifen (5,7-dikloro-4-(p-fluorofenoxi)kinolin)*
Ej tillämpligt	Dioxiner*
Ej tillämpligt	PCB*

Tabell 3-2 Ytterligare föreslagna prioriterade ämnen (EU, 2012).

Ämnesgrupp	Det föreslagna prioriterade ämnets namn
Växtskydds-medel	Aklonifen
	Bifenox
	Cypermethrin
	Dikofol
	Heptaklor
	Kinoxifen
Biocider	Cybutryne
	Diklorvos
	Terbutryn
Industri-kemikalier	Perfluorooktansulfonsyra (PFOS)
	Hexabromcyklododekan (HBCDD)
Förbrännings-biprodukter	Dioxin
	Dioxinlika PCB'er
Farmaceutiska ämnen	17 alfa-etinylöstradiol (EE2)
	17-beta-östradiol (E2)
	Diklofenak

3.2 Prioritering av ämnen baserad på analysresultat från avloppsreningsverk

VA SYD och NSVA deltog i projektet som tänkbara placeringar för pilotanläggningen. Dessutom har GRYAAB involverats i projektet eftersom RYA-verket har en lång tradition för analys av bland annat vattenramdirektivets ämnen och verket har samtidig betydande driftserfarenheter med bäraranläggningar från pilot- och full skala. Verket har därför involverats i arbetet med att identifiera prioriteringsämnena.

3.2.1 Halter av ramdirektivets ämnen i avloppsvatten till Sjölanda avloppsreningsverk i Malmö

VA SYD deltog tillsammans med bland annat Helsingborg Stad i Öresundssamarbetet – Källsamarbetet. I projektet analyserades för en lång rad organiska föroreningar i inkommande vatten till Sjölanda avloppsreningsverk (och i upptagsområdet till verket). Tanken var att ta reda på vilka av ramdirektivets ämnen som skulle kunna ställa till problem och därmed bara kan tas bort via uppströmsarbete. Tabell 3-3 visar medelvärde och minimum–maximum för de organiska ämnen som identifierades som viktigast i Källsamarbetet.

Tabell 3-3 Viktigaste fokusämnena som identifierats i Öresundsprojektet – Källsamarbetet. Medelvärde och minimum–maximum (µg/L) är angett

Fokusämnen	Malmö Stad Sjölanda	København Lynetten	København Damhusåen	Helsingborg Öresundsverket
Nonylfenol plus NPE med 1 och 2 ethoxylater	5,5 1,0–10,0	5,4 5,3–5,5	11 7,7–15	1,6 1,4–1,8
Oktylfenol plus OFE med 1 och 2 ethoxylater	0,8 0,05–1,5	<0,1	<0,1	0,06 0,05–0,06
Bisfenol A	0,9 0,81–1,0	0,86 0,82–0,89	0,66 0,65–0,66	32 4,5–49
DEHP	6,7 6,0–7,3	7,6 5,3–9,9	8,4 6,2–10	4,0 4,0–4,0
Summan av PFAS	0,55 0,25–0,87	0,12	0,11	0,2
Triclosan	1,1 0,84–1,3	6,7 5,2–8,1	5,8 4,7–6,9	0,75 0,67–0,84
Klorparafiner	–	1,4*	0,5*	–

* Summan av MCCP (med medellång kolkedja) och SCCP (med kort kolkedja).

3.2.2 Halter av ramdirektivets ämnen i avloppsvatten till och från Öresundsverket i Helsingborg och Lundåkraverket i Landskrona

I anknytning till projektet genomförde NSVA i samarbete med Länsstyrelsen en mätserie på Öresundsverket i Helsingborg och Lundåkraverket i Landskrona (Fermstad och Flodin, 2015). Totalt 147 ämnen blev analyserade i inkommande och utgående vatten från verken. Alla ramdirektivets ämnen ingick i analysprogrammet. Bara ett fåtal av de organiska föroreningarna hittades i koncentrationer högre än detektionsgränserna. I inloppsproverna återfanns cirka 40 ämnen, medans utgående vatten innehöll cirka

15 ämnen över detektionsgränserna. Också totalt organiskt kol (TOC) och upplöst organisk kol (DOC) har inkluderats. I bilaga 1 återfinns en tabell med resultaten för 147 ämnen (och ämnesgrupperna) som analyserades vid Öresundsverket och Lundåkraverket. Där finns också en reducerad tabell med resultat från de 43 ämnen (och ämnesgrupper) med resultat över detektionsgränsen i något prov.

3.3 Urval av fokusämnen

Tabell 3-4 innehåller de ämnen som litteraturstudien utpekade som relevanta för reningsverk.

Tabell 3-4 Ämnen identifierade som relevanta för reningsverk.

Ämnen relevanta för reningsverk
17alfa-ethinylöstradiol
17β-Östradiol
Antracen
Bensen
Cyanider (fria)
Cybutryne (Irgarol®)
DEHP, di(2-etylhexyl)ftalat
Diklormetan
Diklofenac
Dioxin och dioxinlika PCB
Fluoranten
Hexaklorbutadien
Naftalen
Nonylfenoler
Oktylfenoler
Perfluoroktansulfonsyra och dess salter (PFOS) och perfluoroktansulfonyl fluorid – ex. på PAH'er: benzo-a-pyren
PBDE
Tetrakloreten
Tributyltenn ämnen
Triklorbenzener
Triklloreten
Triklormetan
1,2,5,6,9,10-Hexabrom-cyclododekan (HBCDD)/ 1,3,5,7,9,11-Hexabrom-cyclododekan (HBCDD)
1,2-dikloreten

Projektets fokusämnen blev härfter urvalet med bakgrund i de prioriterade ämnena från genomgången av ramdirektivets prioriteringslistor, litteraturstudien, resultaten från verken och kriterierna beskrivna i kapitel 2.

De ämnen som valdes ut till experimenten är presenterade i tabell 3-5. Resultat från de fetmarkerade redovisas eftersom några inte gick att lösa i vatten till den önskade koncentration och några (antracen och naftalen) visade samma reduktion som de som redovisas i kapitel 6.

Tabell 3-5 Ämnen som ingick i projektet.

Ramdirektivets prioriterade ämnen	4-n-Nonylfenol 4-Oktylfenol Acenaftalen Acenaphthylen Antracen Benz[a]anthracen Benzo[a]pyren Benzo[b]fluoranten Benzo[ghi]perylene Benzo[k]fluoranthren Fenantren Fluoranthren Fluoren Krysen Naftalen Pyren
Läkemedel	Ibuprofen Ketoprofen Naproxen
Läkemedelsmetabolit	Klofibrinsyra

4 Försöksuppställning och analysmetoder

Pilotanläggningen placerades på Sjölanda avloppsreningsverk, eftersom de studerade verken hade koncentrationer av prioriterade ämnen i samma koncentrationsnivåer och den praktiska driften av pilotanläggningarna var enklare på detta verk.

4.1 Sjölanda avloppsreningsverk

Till Sjölanda avloppsreningsverk i Malmö är cirka 300 000 personer och ett stort antal industrier anslutna. Inkommande avloppsvatten med årsmedelkoncentrationer kring 220 BOD₇ and 40 mg/L kväve, behandlas först kemiskt/mechaniskt (fingaller, sandfång, sedimentering med kemisk fällning). Den efterföljande biologiska reningen är fördelad på tre steg. Det först steget är en högbelastad aktivslamprocess med låg slamålder för BOD-reduktion, det andra en nitrifierande biobädd och det tredje en oluftad MBBR för denitrifikation med metanol. Biologiskt renat vatten efterfalls sedan i en flotationsanläggning.

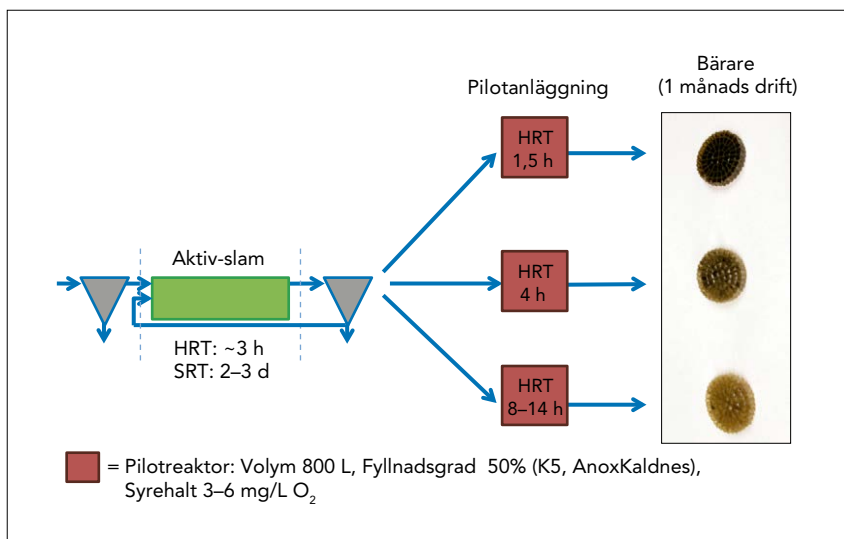
4.2 Pilotanläggning

För att utreda rening av fokusämnen togs en pilotanläggning i drift (figur 4-1). Anläggningen bestod av tre parallella reaktorer à 800 L med rörligt bärarmaterial och var placerad efter det högbelastade aktivslamsteget på Sjölanda avloppsreningsverk. Reaktorerna inokulerades med bärare (K5, AnoxKaldnes, 50 % fyllnadsgrad) från Sundets reningsverk, Växjö, i augusti 2012. Reaktorerna drevs sedan under 3,5 månader med tre olika hydrauliska uppehållstider (HRT): normal (1,5 h), lång (4 h) och mycket lång (8–14 h) HRT. Syrehalten hölls mellan 3 och 6 mg/L O₂ i de tre reaktorerna.

För att utvärdera de tre reaktorernas reningskapacitet med avseende på kväverening togs prov på inkommande och utgående vatten två gånger i veckan för analys av ammonium (NH₄⁺-N), nitrat (NO₃⁻-N), nitrit (NO₂⁻-N), och kemisk syreförbrukning (COD). Vidare bestämdes bärarnas volumetriska nitrifikationskapacitet och biofilmsmängd varannan vecka.

4.2.1 Provtagning av pilotanläggning

Stickprov på inkommande och utgående vatten togs två gånger i veckan för analys av NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, NO₂⁻-N, COD, och suspenderade ämnen. Bestämning av NH₄⁺-N (LCK303), NO₃⁻-N (LCK339), NO₂⁻-N (LCK341), COD (LCK114) skedde spektrofotometriskt, Hach-Lange och de suspenderade ämnena bestämdes enligt Svensk Standard (SS-EN 872:2005). I samband med dessa provtagningar kontrollerades även syrehalt och flöde.

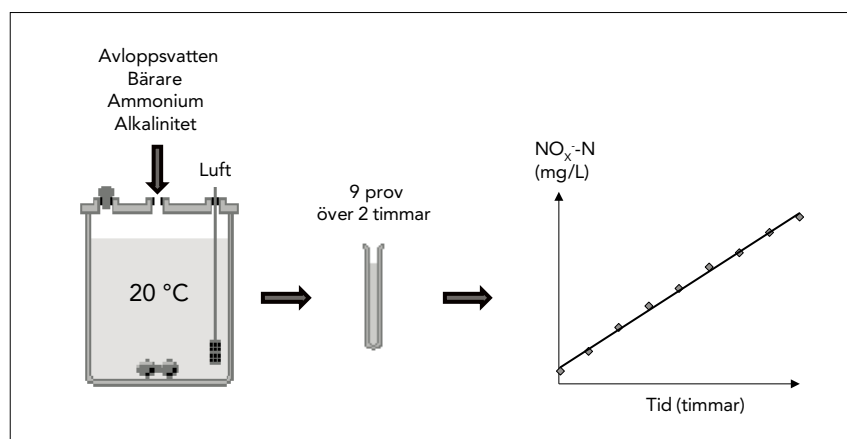


Figur 4-1

Schematisk bild av pilotanläggningen. Fotografiet visar skillnaderna i påväxt av biofilm på bärarna i de tre reaktorerna med olika hydraulisk uppehållstid (HRT) efter en månads drift. Det ses tydligt att brunfärgningen och därmed påväxten är betydligt kraftigare på bärarna med kort uppehållstid (hög belastning) än på bärarna med lång uppehållstid (låg belastning). Ursprungsbärarna från Sundets reningsverk hade biofilmspåväxt och fotografiet visar således skillnaderna i mängd biofilm efter en månads drift och inte biofilmstillväxten under en månad.

4.2.2 Bestämning av nitrifikationskapacitet

Bärarnas nitrifikationskapacitet bestämdes i fullständigt syresatta ($>6,5$ mg/L, O_2) och omblandade reaktorer vid 20°C med bärare (40 % fyllnadsgrad) och utgående avloppsvatten. Vid försöksstart tillsattes näringsämnen och alkalinitet ($0,672$ g/L, NaHCO_3 ; $0,236$ g/L, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; $0,044$ g/L, KH_2PO_4). Prover för analys av $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ och $\text{NO}_2^-\text{-N}$ togs sedan var 15:e minut under 2 timmar. Den volumetriska nitrifikationskapaciteten beräknades sedan genom linjär regression av summahalten $\text{NO}_3^-\text{-N}$ och $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ($\text{NO}_x^-\text{-N}$). Figur 4-2 visar en schematisk bild av det experimentella förfarandet vid bestämning av den volumetriska nitrifikationshastigheten.



Figur 4-2 Experimentellt förfarande vid bestämning av volumetriska nitrifikationshastighet.

4.2.3 Bestämning av mängd biomassa

Vid varje nitrifikationsförsök togs tjugo bärare från var och en av de tre piloterna. Bärarna torkades vid 105°C över 24 h. Torra bärare vägdes och vid två tillfällen överfördes sedan bärarna i 5 M svavelsyra för avlägsnande av biomassa. Efter att biomassan avlägsnats torkades bärarna vid 105°C .

över 24 h och vägdes på nytt. Mängden biomassa per reaktor volym uppskattades sedan genom att multiplicera skillnaden i vikt mellan bärare med biomassa och bärare utan biomassa med antalet bärare per volymenhet i piloten.

4.3 Försök med fokus/indikatorämnen

4.3.1 Försök med polycykliska aromatiska kolväten och fenoler

Försök med polycykliska aromatiska kolväten och fenoler genomfördes vid tre tillfällen, före start av pilot (med ursprungsbärare från Sundets reningsverk i Växjö), efter en veckas drift och efter två månaders drift. Till följd av kraftig sorption av samtliga polycykliska aromatiska kolväten och fenoler till bärare, biomassa och reaktionskärl behandlas endast det sista försöket i rapporten. Syftet med detta försök var att studera sorptionens betydelse för avlägsnandet av dessa ämnen.

Det sista försöket genomfördes i fyra parallella batch-reaktorer: *i)* en med nya K5 bärare utan biofilm, *ii)* en med autoklaverade bärare med biofilm, *iii)* en med bärare med biofilm och natrium azid, NaN_3 , för inhibering av biologisk aktivitet, och *iv)* en med biologiskt aktiva bärare med biofilm. Alla bärare med biofilm i detta försök togs från piloten med fyra timmars HRT. För att undvika för kraftig sorption drevs batch-reaktorerna med mycket låg fyllnadsgrad, 5 %. Inkommande avloppsvatten från pilotanläggningen överfördes till en gemensam stålreaktor och spikades med polycykliska aromatiska kolväten och fenoler till en koncentration av 100 $\mu\text{g/L}$. Efter omblandning tillfördes detta avloppsvatten de fyra batch-reaktorerna. Dessa reaktorer var av glas och den tillförda mängden avloppsvatten var 8 L per reaktor. 0,2 volymprocent NaN_3 tillsattes i en av reaktorerna. Vid försöksstart tillsattes bärare till reaktorerna. Prover (200 mL) togs sedan vid 15 tillfällen under 48 timmar (10 min, 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 6 h, 8 h, 12 h, 15 h, 18 h, 24 h, 30 h, 36 h, och 48 h efter att bärare tillsatts). När vätskeprov togs avlägsnades motsvarande mängd bärare för att upprätthålla en konstant fyllnadsgrad i reaktorerna. Alla reaktorer var fullständigt omblandade och syresatta ($> 7 \text{ mg/L O}_2$) och drevs vid 19–22 °C och pH 7,9–8,6 under hela försöket.

4.3.2 Försök med läkemedel

För utreda den hydrauliska uppehållstidens påverkan på den volumetriska reningskapaciteten av tre läkemedel (ibuprofen, naproxen, ketoprofen) och en läkemedelsmetabolit (klofibrat) genomfördes batch-försök med bärare från de tre piloterna efter 3,5 månaders drift. Batch-försöket genomfördes i tre parallella, fullständigt omblandade, och syresatta ($> 7 \text{ mg/L O}_2$) 10-liters reaktor med (40 % fyllnadsgrad) och utgående avloppsvatten. Under försöket var temperaturen 19–21 °C och pH 7,6–8,3. Vid försöksstart tillsattes 10 $\mu\text{g/L}$ av varje läkemedel. Prover (300 mL) togs sedan vid 12 tillfällen under 24 timmar (10 min, 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 6 h, 8 h, 12 h, 20 h och 24 h efter läkemedel tillsatts). Vid varje provtagning av vätskefasen avlägsnades även bärare för att upprätthålla en konstant fyllnadsgrad.

4.4 Analys av fokusämnen

4.4.1 Analys av polycykliska aromatiska kolväten och fenoler

Provhantering

Prover för analys av fenoler (NP, OP, BPA, tabell 4-1) uttogs i 40 ml glasvia-
ler med skruvlock försedda med polypropylenseptum utan hål. Prover för
PAH-analys uttogs i 100 ml flaskor av borosilikatglas med blått skruvlock
och droppring i polypropylen. Alla flaskor kläddes med aluminiumfolie
för att förhindra exponering för ultraviolett (UV)-ljus. Proverna skickades
omgående till DTU Miljö där de mottogs i laboratoriet och placerades i
kylskåp eller kylrum (4 °C) direkt efter ankomst.

Tabell 4-1 Analyter och interna standarder (IS) till PAH- och fenol-analys.
X anger att data redovisas i rapporten.

Namn	Förkortn.	Funktion	CAS-nr.	LogK _{ow} [*]	K _H [atm m ³ mol ⁻¹]*	pKa
2,2,4-trimethylpentan (isooktan)		Keeper	540-84-1	4,09	3,04E0	
Acenaftalen		Analyt	83-32-9	4,15	1,84E-04	X
Acenapthylen		Analyt	208-96-8	3,94	1,14E-04	X
Antracen		Analyt	120-12-7	4,35	5,56E-05	
Benz[a]anthracen		Analyt	56-55-3	5,52	1,20E-05	
Benzo[a]pyren		Analyt	50-32-8	6,11	4,57E-07	
Benzo[b]fluoranten		Analyt	205-99-2	6,11	6,57E-07	
Benzo[ghi]perylene		Analyt	191-24-2	6,70	3,31E-07	
Benzo[k]fluoranthren		Analyt	207-08-9	6,11	5,84E-07	
Fenantren		Analyt	85-01-8	4,35	4,23E-05	X
Fluoranthren		Analyt	206-44-0	4,93	8,86E-06	X
Fluoren		Analyt	86-73-7	4,02	9,62E-05	X
Krysen		Analyt	218-01-9	5,52	5,23E-06	
Naftalen		Analyt	91-20-3	3,17	4,40E-04	
Naftalen-D8	Naf-d8	IS				
Perylen-D12	Per-d12	IS				
Pyren		Analyt	129-00-0	4,93	1,19E-05	
Pyren-D10	Pyr-d10	IS				
4-n-Nonylfenol	NP	Analyt	104-40-5	5,99	3,40E-05	10,25# X
4-Oktylfenol	OP	Analyt	1806-26-4	5,50	4,50E-06	10,25# X

* EPISuite, # SPARC online-calculator.

PAH-analys

Proverna filtrerades med Whatman GF/F (glasfiberfilter med en porstor-
lek på 0,7 µm, utan organiskt bindemedel) och filtratet surgjordes till pH
2 med en 4 fosfatbuffert. Till filtratet tillsattes sedan två internstandarder
(pyr-d10 och per-d12 upplösta i aceton), allt enligt interna metoder vid
DTU Miljö.

Fastfaskolonnerna (ENVI-18™ från Supelco) konditionerades med
genomsköljning av toluen: metanol, och därefter med metanol och slut-
ligen avjoniserat vatten. Proverna (filtraten) överfördes kvantitativt till
kolonnerna med hjälp av vakuum vid ett flöde <10 mL/min, och kolon-
nerna torkades efteråt sittandes i hållarna vid bibehållet vakuum i en timme.
PAH'erna eluerades med två elueringar med toluen:metanol, och extraktet

torkades med vattenfri dinatriumsulfat, varefter isooktan med IS (naf-d8) tillsattes extraktet. När volymen av extrakten reducerats till 2 mL överfördes de till i GC-MS vialer. Två µL av extraktet injicerades (splitless) av en auto-injektor till ett inlet som hölls vid 300 °C. Separation av analyterna gjordes med en gaskromatograf (Agilent 6890) och en ZB-5ms kolonn som var försedd med 5-meter guard column, i kombination med helium som bärargas (1 mL/min). Detektion av analyterna utfördes med en masspektrometer (Agilent 5975C triple-axis detector) vid SIM mode. Alla standarder till kalibreringskurvorna genomgick den samma process som proverna förutom filtreringen (0,7 µm GF/F), och till vart och ett av de tre försöken gjordes nya 9-punkters kalibreringskurvor. Kvantifikationsgränsen låg på 0,1 µg/L, och mätområdena var 0,1–10 µg/L och 0,5–100 µg/L. Vid var analys inkluderades även en kontrollstandard på 10,0 µg/L. RSD var i genomsnitt 3,3 % från 0,7 % naftalen till 5,1 % krysen.

Fenolanalys

Proverna surgjordes till pH 2 med en 4 M fosfatbuffert och tillsattes intern standard (n-pentylfenol). Analyterna uppkoncentrerades med fastfasmikroextraktion, separerades med gaskromatografi och detekterades med masspektrometri, enligt interna metoder vid DTU Miljö. Fastfasmikroextraktion (SPME) utfördes i vattenfasen med hjälp av en PDMS/DVB fiber (Supelco). Utsaltning skedde med fosfatbuffert under omskakning vid 55 °C och jämviktstiden var 60 min. Desorption till GC inlet skedde vid 250 °C i 5 min. Analyterna separerades med hjälp av gaskromatografi (7890A GC System, Agilent Technologies) utrustad med en 30 m × 0,25 mm × 1,00 µm ZB-5MS kolonn (Phenomenex). Ugnen programmerades enligt; 50 °C initial temp, 20 °C/min till 235 °C 8 min hold följt av 30 °C/min till 300 °C 2 min hold. Helium, 1 mL/min, användes som bärargas. Detektion skedde mha masspektrometer (5975C Triple axis mass-detector, Agilent Technologies) i single ion monitoring mode (SIM). Monitorerade m/z var; n-pentylfenol (107 och 164), 4-oktylfenol (107 och 206), 4-nonylfenol (107 och 220); samt butylhydroxitoluen. Alla analyser utfördes som duplikat, och standarderna till kalibreringskurvorna genomgick samma process som proverna (surgörning, SPME, och GC-MS). Kvantifikationsgränsen låg på 0,1 µg/L, och mätområdena var 0,1–10 µg/L och 0,1–100 µg/L. En kontrollstandard var inkluderad, och RSD var för 4-OP 6,6 % och 4-NP 9,4 %.

4.4.2 Analysmetodik läkemedelsämnen

Provhantering

Provförberedelserna inför analys för läkemedelsanalys (ibuprofen, naproxen, ketoprofen och klofibrinsyra, tabell 4-2) utfördes på laboratoriet hos VATEKNIK i Lund medan analyserna genomfördes vid Institute Jozef Stefan, Ljubljana.

Tabell 4-2 Läkemedel som ingick i analysprogrammet.

Namn	CAS-nr	LogK _{ow}	K _H [atm m ³ mol ⁻¹]*	pK _a
Ibuprofen	15687-27-1	3,97	1,52E-07	4,91
Ketoprofen	22071-15-4	3,12	2,12E-11	4,45
Klofibrinsyra	882-09-7	2,57	2,19E-08	3,0#
Naproxen	22204-53-1	3,18	3,39E-10	4,15

*EPISuite; # SPARC online-calculator.

Prover (200 mL) filtrerades (1,2 µm, glasfiberfilter följt av 0,45 µm, cel-lulosafilter) och surgjordes (pH 2,7) med saltsyra (HCl). Internstandard (2 µg/L ibuprofen-d3, 2 µg/L ketoprofen-d3 och 2 µg/L mekoprop) tillsattes före fastfassextraktion. Fastfasskolonner (Oasis® HLB, 60 mg/3 mL) akti-verades med 3 mL etylacetat, 3 mL metanol och 3 mL surgjort vatten (pH 2,7). Efter att proverna anrikats på fastfasskolonnerna skickades de för ana-lysis på Jozef Stefans Institut där de eluerades med 3×1 mL etylacetat. Eluatens överfördes till GC-vialer, indunstades och löstes i 0,5 mL etylacetat innan en 15 timmars derivivering med 30 µL MTBSTFA vid 60 °C påbörjades. De derivatiserade extrakt analyserades på en gaskromatograf utrustad med en masspektrometrisk detektor (GC/MS).

1 µl prov injicerades splitt less på GC/MS:n (HP 6890, Hewlett-Packars Waldbronn, Germany), helium använde som bärgas och med ett tempera-turprogram från 65 °C–300 °C separerades substanserna. Med GC/MS:n inställd på elektronisk jonisation med 70 eV och i SIM-läge identifierades läkemedelsderivaten genom att detektera jonerna presenterade i tabell 4-3. Kvantifieringen genomfördes baserat på joner i fet stil. Data processades med programmet Chemstation (Zupanc m.fl., 2013).

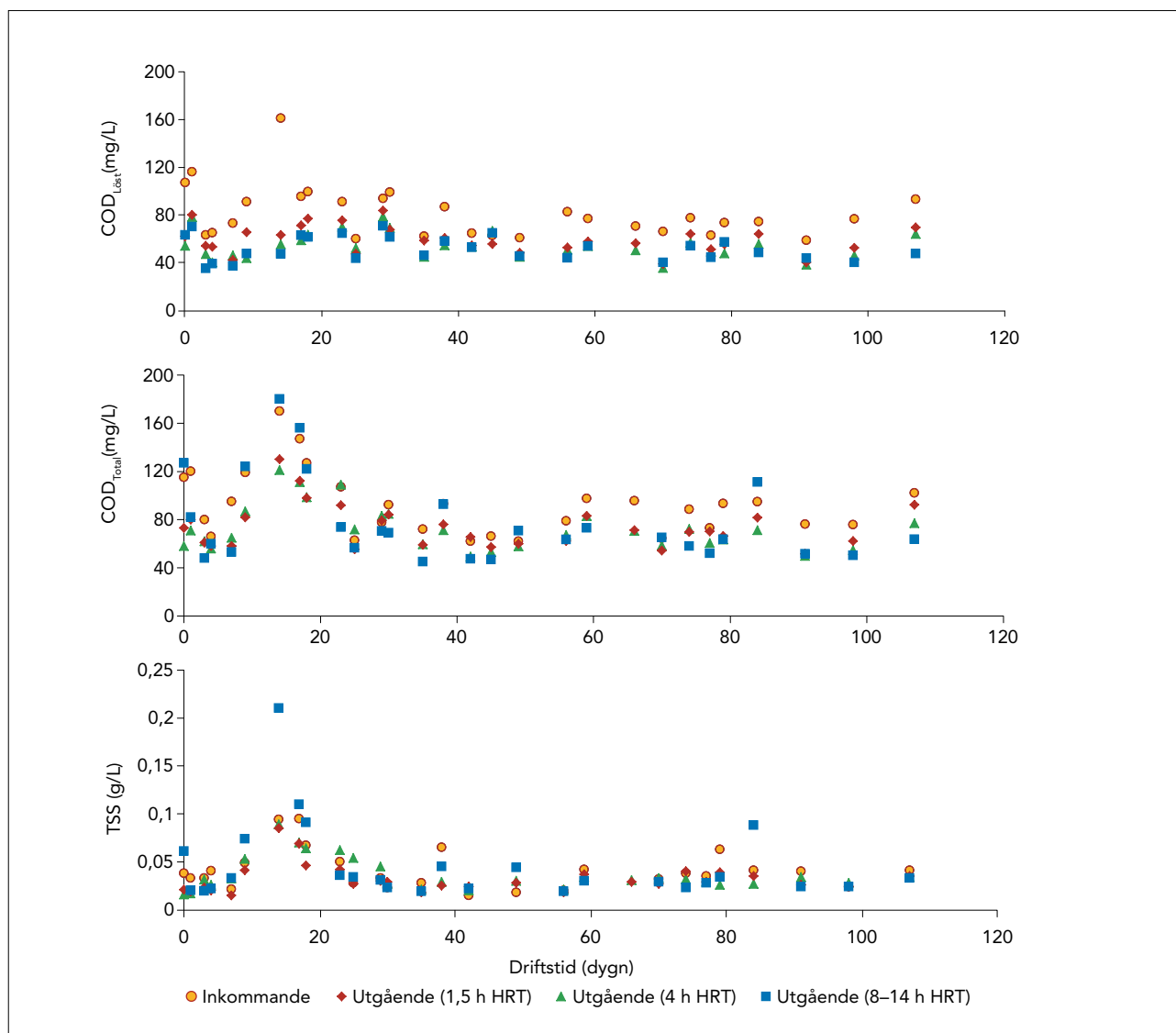
Tabell 4-3 Joner användes för att detektera substanserna och för att kvan-tifiera läkemedlen användes de joner som är markerade i fet stil.

Substans	m/z
Klofibrinsyra	271 , 185, 143
Ibuprofen	263 , 205
Naproxen	287 , 185, 272
Ketoprofen	311 , 295
Interna standarder	
Mekoprop	274 , 231
Ibuprofen (alfa-metyl-d3)	266
Ketoprofen (alfa-metyl-d3)	314 , 298

5 Inkörning och drift av anläggningar med rörliga bärare

5.1 Resultat från pilotanläggning i drift

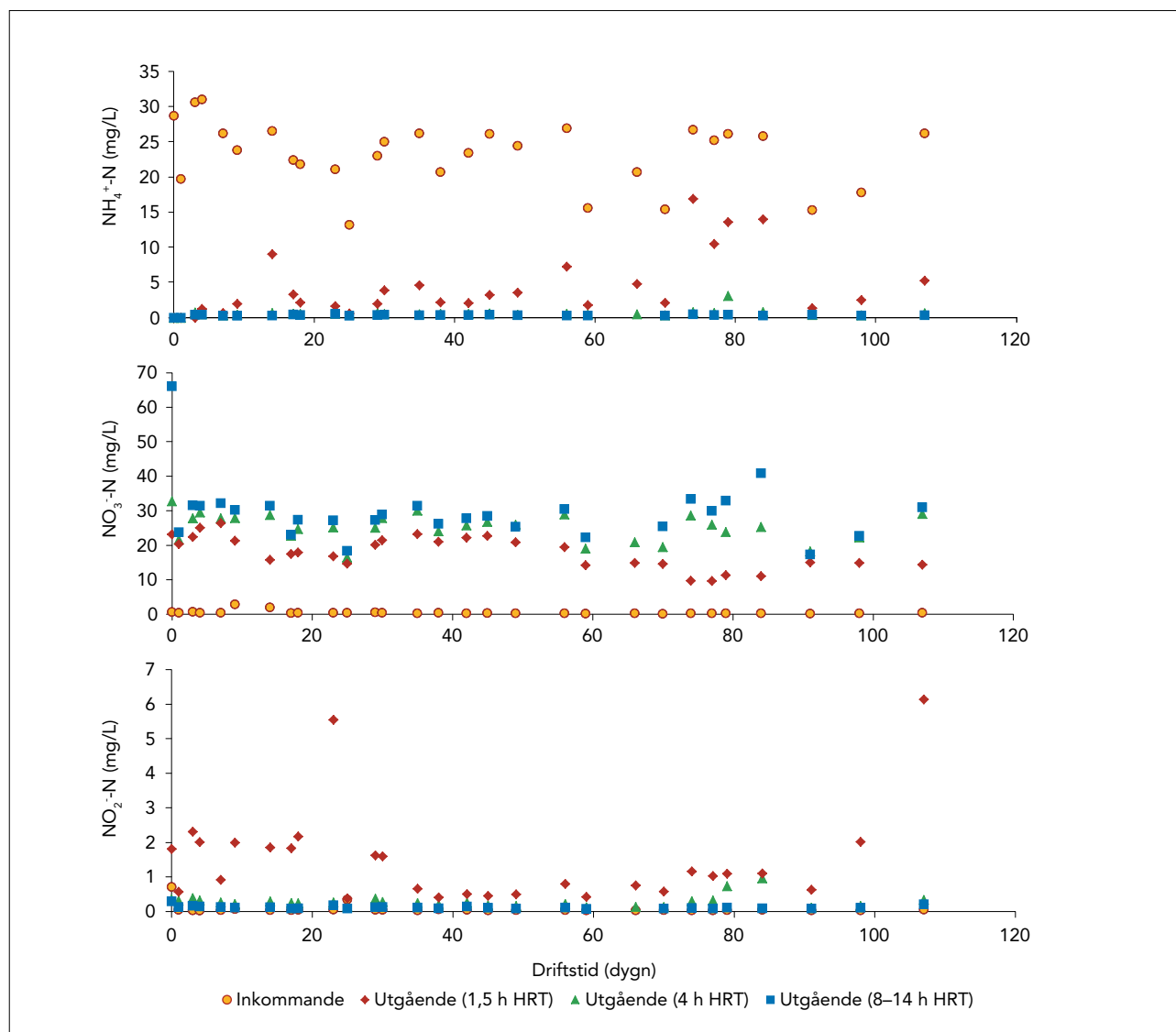
Avloppsvatten från det högbelastade aktivslamsteget på Sjölanda avloppsreningsverk med följande medelkoncentrationer (23 mg/L $\text{NH}_4^+\text{-N}$, 0,4 mg/L $\text{NO}_3^-\text{-N}$, <0,1 mg/L $\text{NO}_2^-\text{-N}$, 90 mg/L total COD, och 80 mg/L löst COD) behandlades parallellt i de tre piloterna. Halterna av COD minskade över alla tre reaktorer med genomsnittliga 15–25 % för total COD och 30–50 % för löst COD (figur 5-1). De två reaktorerna med lång hydraulisk uppehållstid uppvisade högre avlägsnande av löst COD än reaktorn med normal HRT (1,5 h). Denna förbättring var dock måttlig och skillnaderna



Figur 5-1 Inkommande och utgående koncentrationer av löst COD (efter filtrering 1,2 $\mu\text{g/L}$), total COD, och suspenderat material (TSS) för de tre piloterna med olika hydraulisk uppehållstid. Driftstid räknas från start.

i rening av total COD var obetydlig mellan reaktorerna. Vidare sågs tydlig koppling mellan total COD och TSS i inkommande och utgående vatten mellan driftsdygn 10 och 25. De höga TSS-halterna i avloppsvattnet under denna tidsperiod var orsakade av tillfällig slamflykt från aktivslamsteget på Sjölanda avloppsreningsverk.

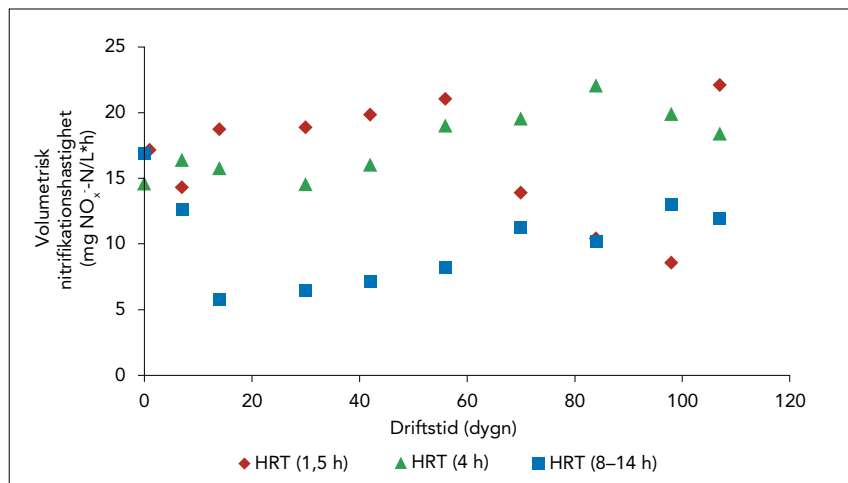
Ammoniumkoncentrationerna minskade från inlopp till utlopp samtidigt som halten av nitrat ökade (figur 5-2), vilket bekräftar att samtliga reaktorer var nitrifierande. Under driftsperioden sjönk avloppstemperaturen från 20–25 °C i augusti/september (driftsdygn 0–60) till 15–20 °C i oktober/november (driftsdygn 60–107) utan att reningen av ammonium påverkades. Reaktorn med normal HRT (1,5 h) uppvisade till skillnad från reaktorerna med lång HRT (4 h och 8–14 h) flera genombrott av ammonium och förhöjda nitritkoncentrationer i det behandlade vattnet. Resultaten visar således att fullständig nitrifikation kunde säkerställas genom att öka den hydrauliska uppehållstiden från 1,5 h till 4 h.



Figur 5-2 Inkommande och utgående koncentrationer av ammonium, nitrat och nitrit för de tre piloterna med olika hydraulisk uppehållstid. Driftstid räknas från start.

5.1.1 Nitrifikationskapacitet och mängd biomassa

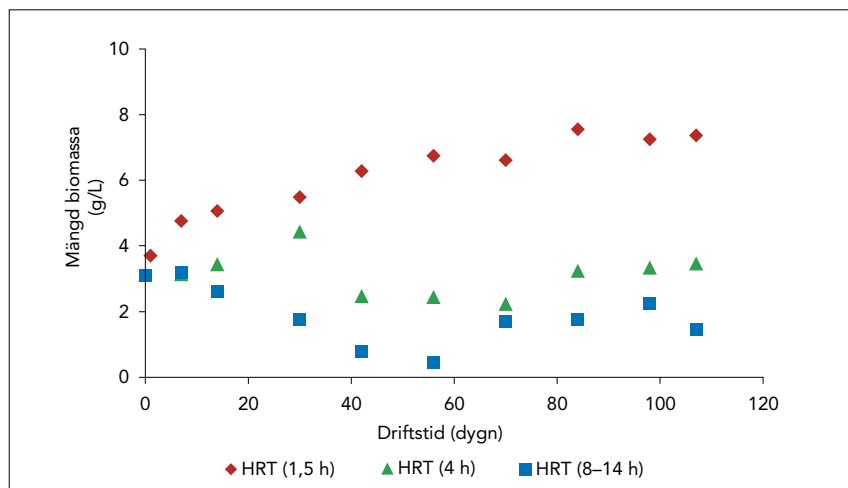
Den volumetriska nitrifikationshastigheten minskade drastiskt direkt efter start i reaktorn med mycket lång HRT, 8–14 h (figur 5-3). Orsaken därtill förmodas vara att den tillförda mängden ammonium var för låg för att upprätthålla tidigare täthet av ammonium oxiderare, vilket stöds av den efterföljande stabiliseringen vid en aktivitetsnivå klart under den ursprungliga. I reaktorn med normal HRT sjönk nitrifikationshastigheten kraftigt, utan driftsteknisk förklaring, mellan driftsdygn 60–95. Denna aktivitetsförändring sammanfaller dessutom relativt väl med de förhöjda ammoniumhalterna i utgående vatten under samma period.



Figur 5-3

Beräknad volumetrisk nitrifikationshastighet vid 50 % fyllnadsgrad för de tre piloterna med olika hydraulisk uppehållstid. Hastighetsmätningar vid 40 % fyllnadsgrad och en omvandlingsfaktor på 1,25 användes vid beräkning. Drifttid räknas från start.

Mängden biomassa i de tre reaktorerna visade tydlig koppling till den hydrauliska uppehållstiden (figur 5-4). Under de första 80 driftsdygna ökade mängden biomassa i piloten med normal HRT (1,5 h) med 100 % samtidigt som den minskade med cirka 50 % i piloten mycket lång HRT (8–14 h) och var relativt stabil i piloten med lång HRT (4 h). Efter detta initiala förlopp var mängden biomassa i de tre reaktorerna relativt konstant. Vidare förklaras skillnaderna i biomassakoncentrationerna efter stabilisering relativt väl av skillnaderna i HRT, vilket understryker kopplingen mellan tillförd mängd substrat och mängden biomassa i reaktorer med rörliga bärare.



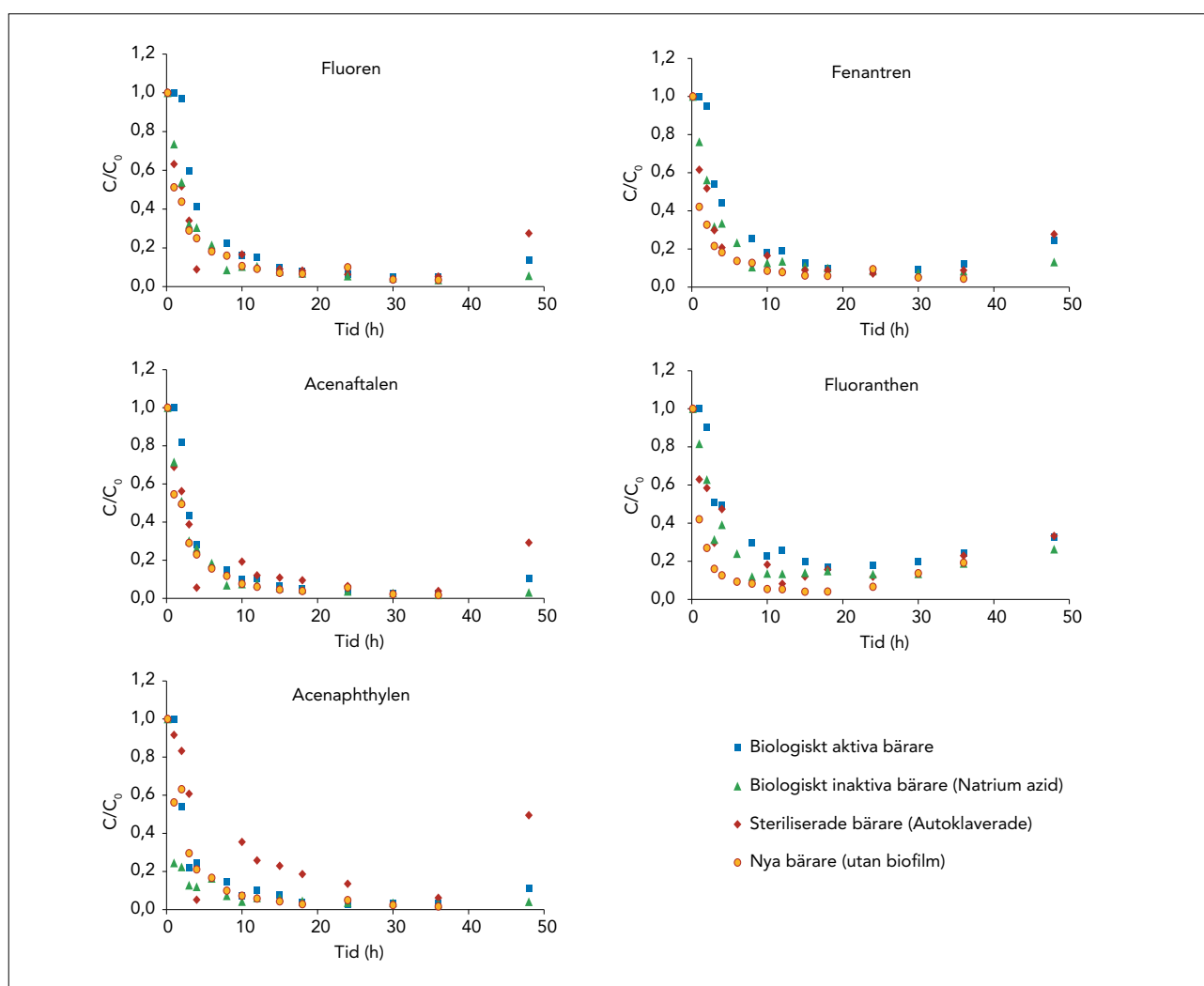
Figur 5-4

Beräknad mängd biomassa i de tre piloterna med olika hydraulisk uppehållstid. Drifttid räknas från start.

6 Resultat från experiment med reduktion av fokusämnen i anläggningar med rörliga bärare

6.1 Sorptionsexperiment med polycykliska aromatiska kolväten och fenoler

Figur 6-1 visar de relativa koncentrationsförändringarna (koncentrationen jämfört den initiala koncentrationen, C/C_0) över tid i vattenfasen för fem polycykliska aromatiska kolväten. De visar det representativa avlägsnandemönster i fyra parallella batch-reaktorer i det tredje av de tre utförda försöken. Skillnaden i avlägsnande mellan de fyra reaktorerna var oftast obetydlig, trots att endast en av reaktorerna drevs med biologiskt aktiva bärare medan de andra innehöll inaktiverade eller helt nya bärare. Den avgörande avlägsnandemekanismen för dessa ämnen torde således vara sorption. Biologisk nedbrytning kan dock inte uteslutas helt, eftersom initial sorption av dessa ämnen kan leda till efterföljande desorption om koncentrationen i



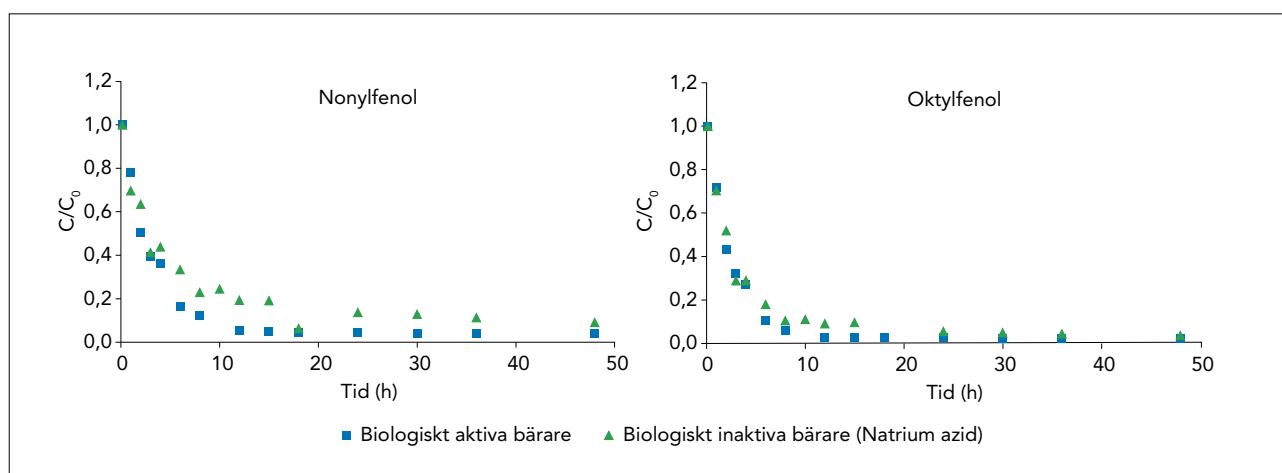
Figur 6-1 Relativa koncentrationsförändringar över tid i vattenfasen för fem polycykliska aromatiska kolväten i fyra parallella batch-reaktorer.

vattenfasen sjunker till följd av biologisk nedbrytning. Uppskattning av denna tänkbara nedbrytning var dock inte möjlig, eftersom merparten av ämnena förväntas vara bundna till bärare, biofilm eller suspenderat material och koncentrationsförändringarna endast mättes i vattenfasen inte som summan av den lösta och bundna fraktionen (dvs. små koncentrationsminskningar i vattenfasen kan motsvaras av stora koncentrationsminskningar i partikelfasen, när biologisk nedbrytning av högsorberande ämnen sker).

Under den avslutande delen av försöket ses en ökning av PAH-koncentrationerna i alla reaktorer med biomassa (figur 6-1). Denna koncentrationsökning kan ha orsakats av att partikulärt material med sorberade PAH från biofilmen på bärarna gått i lösning, sedan finfördelats och därmed passerat filtret vid provupparbetningen.

Figur 6-2 visar relativa koncentrationsförändringar över tid för nonylfenol och oktylfenol i två parallella batch-reaktorer i det tredje av de tre utförda försöken. Den obetydliga skillnaden i avlägsnandet mellan den biologiskt aktiva och den biologiskt inaktiva reaktorn (NaN_3), indikerar att sorption är den avgörande avlägsnandemekanismen för dessa två ämnen, men då den kemiska analysen inkluderade både vattenlöst- och partikulärfas syftar sorptionen till bärare eller biofilm. Liksom för PAH'erna går det dock inte att utesluta viss biologisk nedbrytning.

Sammantaget visar resultaten i figur 6-1 och figur 6-2 att en avgörande del av nonylfenol, oktylfenol, och PAH som påträffas i inkommande avloppsvatten vid svenska reningsverk (tabell 3-4 och 3-5) kommer fördelas till slammet. Vidare ger resultaten i denna studie stöd för att de låga halterna av dessa ämnen i utgående avloppsvatten (tabell 3-4) i huvudsak är sorptionsorsakade.



Figur 6-2 Relativa koncentrationsförändringar över tid i vattenfasen för nonylfenol och oktylfenol i två parallella batch-reaktorer.

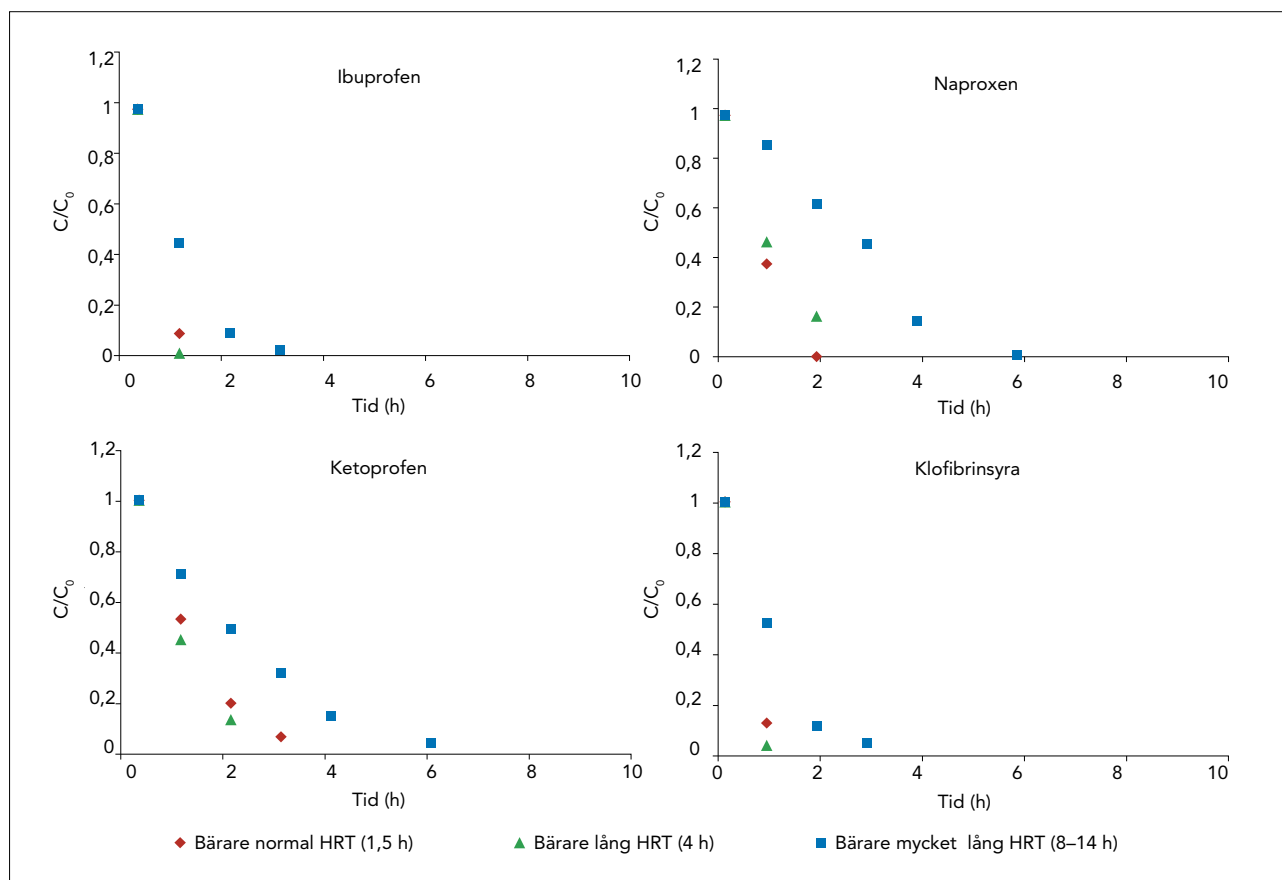
6.2 Experiment med vattenlösliga läkemedel

I försöken med vattenlösliga läkemedel inkluderades tre läkemedel, ibuprofen, naproxen och ketoprofen samt en läkemedelsmetabolit, klofibrinsyra, med typiska slam/vatten fördelningskoefficienter, K_d -värden, på $\leq 0,05$ L/g biomassa (Ternes m.fl., 2004; Abegglen m.fl., 2009; Radjenović m.fl., 2009).

Med utgångspunkt från dessa K_d -värden och mängden biomassa i försöken (1–6 g/L) förväntas avlägsnandet av läkemedlen från vattenfasen via sorption underskrida 25 %.

Figur 6-3 visar relativa koncentrationsförändringar över tid i vattenfasen för ibuprofen, naproxen, ketoprofen och klofibrinsyra i tre parallella batch-reaktorer. Vid jämförelse av de normal- och lågbelastade bärarna (dvs. bärarna från pilotförsöket med 1,5 respektive 4 timmars hydraulisk uppehållstid) ses ingen tydlig skillnad i volumetrisk nedbrytningshastighet, vilket antyder att den 50 % lägre biomassekoncentrationen i den lågbelastade reaktorn (figur 5-3; Driftsdygn 107) kompenseras av en 100 % högre nedbrytningshastighet per biomassenhet. Vid ytterligare ökning av den hydrauliska uppehållstiden från 4 till 8–14 timmar verkar dock minskningen i mängd biomassa få negativt genomslag på den volumetriska nedbrytningshastigheten.

Baserat på nedbrytningsprofilerna i figur 6-3 kan fullständig reduktion av ibuprofen, naproxen, ketoprofen och klofibrinsyra uppnås i pilotförsöken med både lång och mycket lång hydraulisk uppehållstid. Om avsikten är att avlägsna dessa substanser verkar det därför inte finnas argument att öka den hydrauliska uppehållstiden från 4 till 8–14 timmar. Vid jämförelse av resultaten i denna studie med tidigare bärarstudie (Falås m.fl., 2012b) är nedbrytningshastigheterna också likvärdiga för ibuprofen, naproxen och ketoprofen, men betydligt högre för klofibrinsyra där avlägsnandet var ofullständigt efter 24 h i den tidigare studien.



Figur 6-3 Relativa koncentrationsförändringar över tid i vattenfasen för tre läkemedel ibuprofen, naproxen och ketoprofen samt en läkemedelsmetabolit klofibrinsyra i tre parallella batch-reaktorer med bärare från de tre pilotförsöken.

7 Slutsatser

Biologisk nedbrytning som metod för att reducera förekomst av ramdirektivets substanser och läkemedel har studerats i syftet att bedöma om utökad uppehållstid i anläggningar med rörliga bärare kan användas som tertiär behandlingsmetod för reduktion av förekomsten av organiska mikroföroreningar. Tre pilotanläggningar har drivits i parallell drift med nitrifikation. En anläggning var normalbelastad med normal hydraulisk uppehållstid (uppehållstid 1,5 h), en hade utökad uppehållstid (4 h) och en hade extremt lång uppehållstid (8–14 h).

Långtgående nitrifikation uppnåddes i alla anläggningarna. Anläggningen med normal belastning uppvisade kortare perioder med genomslag av ammonium och högre halter av nitrit än de två andra som båda hade stabil, full nitrifikation genom hela försöket. Biomassan i anläggningarna med utökad uppehållstid var starkt reducerad i förhållande till den normalt belastade anläggningen.

Nonylfenol, oktylfenol, samt några mindre PAH utvaldes som fokusämnen för bedömning av nedbrytningen av ramdirektivets substanser. Sorptionen till bärarna och slammet på bärarna är dock så betydande att det inte går att utläsa någon nedbrytning. I praktiken förväntas dessa substanser att nå långtgående reduktion i avloppsreningsverk enbart genom sorption.

Tre läkemedel ibuprofen, ketoprofen, naproxen och en läkemedelsmetabolit klobibrinsyra användes för att utvärdera nedbrytningen av vattenlösliga läkemedelssubstanser. Nedbrytningshastigheterna är likvärdiga med tidigare experiment för ibuprofen, naproxen och ketoprofen, men betydligt högre för klobibrinsyra.

Fullständig reduktion av ibuprofen, naproxen, ketoprofen och klobibrinsyra kan förväntas uppnås i anläggningar med såväl lång som mycket lång hydraulisk uppehållstid. Den förlängda uppehållstiden är därför inte motiverad i praktiken.

Reduktionshastigheten för bärarna med kort uppehållstid hade samma hastighet som bärarna med lång uppehållstid; men kontakttiden är för kort för att säkerställa fullständig reduktion av läkemedlen.

Ett av projektets mål var att finna PS som kan uteslutas från uppströmsarbetet tack vare att dessa kan nedbrytas biologiskt i reningsverket. Dessvärre gjorde urvalet av PS att detta mål bara kunde nås för några läkemedel och en läkemedelsmetabolit, men inte för ämnen utvalt från ramdirektivet. Slutsatsen blir således att dessa PS bör hanteras uppströms.

8 Referenser

- Abegglen, C., Joss, A., Mc Ardell, C.S., Fink, G., Schlüsener, M.P., Ter-
nes, T.A. & Siegrist, H. (2009). The fate of selected micropollutants in a
single-house MBR. *Water Research* 43(7), 2036–2046.
- EPISuite. Exposure Assessment Tools and Models. (2012). U.S. Environ-
mental Protection Agency [http://www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episui-
tedl.htm](http://www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episui-
tedl.htm).
- KOMMISSIONENS GENOMFÖRANDEBESLUT (EU) 2105/495 av
den 20 mars 2015 om upprättande av en bevakningslista över ämnen för
unionsomfattande övervakning inom vattenpolitikens område i enlighet
med Europaparlamentet och rådets direktiv 2008/105/EG
- EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2008/105/EG
av den 16 december 2008 om miljökvalitetsnormer inom vattenpolitikens
område och ändring och senare upphävande av rådets direktiv 82/176/
EEG, 83/513/EEG, 84/156/EEG, 84/491/EEG och 86/280/EEG, samt
om ändring av Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/60/EG. OJ L
348, 24.12.2008, p. 84–97.
- European Commission – Press release (2012). Environment and Water:
proposal to reduce water pollution risks, [http://europa.eu/rapid/press-
release_IP-12-88_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-
release_IP-12-88_en.htm)
- Falås, P., Andersen, H.R., Ledin, A. & la Cour Jansen, J. (2012a). Impact
of solid retention time and nitrification capacity on the ability of activa-
ted sludge to remove pharmaceuticals. *Environmental Technology* 33(8),
865–872.
- Falås, P., Baillon-Dhumez, A., Andersen, H.R., Ledin, A. & la Cour Jan-
sen, J. (2012b). Suspended biofilm carrier and activated sludge removal of
acidic pharmaceuticals. *Water Research* 46(4), 1167–1175.
- Falås, P., Longrée P., la Cour Jansen, J., Siegrist, H., Hollender, J. & Joss
A. (2013). Micropollutant removal by attached and suspended growth in
a hybrid biofilm-activated sludge process. *Water Research* 47 (13), 4498–
4506.
- Fermstad, M. & Flodin, J. (2015). Utvärdering av föroreningar i slam och
vatten från två skånska avloppsreningsverk. Studentrapport Tillämpad
Ekotoxikologi – TEK097, VT15 LTH, 2015-03-13 på uppdrag av Läns-
styrelsen Skåne, Pardis Pirzadeh, epardis.pirzadeh@lansstyrelsen.se.
- Gasperi, J., Garnaud, S., Rocher, V. & Moilleron, R. (2008). Priority pol-
lutants in wastewater and combined sewer overflow. *Science of the Total
Environment* 407, 263–272.
- Källsamarbetet: (2011), www.spillvandsinfo.dk (acc. 2011-02-08).
- Lützhøft, H-C., Holten, Donner, E., Gevaert, V., De Keyser, W., Wick-
man, T., Cerk, M., Eriksson, E., Lecloux, A. & Ledin, A. (2009a).

Quantifying Releases of Priority Pollutants from Urban Sources. Presented at: International Conference on Xenobiotics in the Urban Water Cycle – XENOWAC 2009, March 11–13, 2009, Paphos, Cyprus, 2009. In: International Conference on Xenobiotics in the Urban Water Cycle – XENOWAC 2009, March 11–13, 2009, Paphos, Cyprus; Proceedings. CD-ROM, p. N177 – Cyprus : University of Cyprus, 2009.

Lützhøft, H-C., Holten, Eriksson, E., Donner, E. & Ledin, A. (2009b). Archetype sources to urban pollution : Abstract RA07A-2. Presented at: SETAC Europe 19th Annual Meeting Göteborg, Sweden 31 May – 4 June 2009. Protecting ecosystem health: facing the challenge of a globally changing environment, 2009. In: SETAC Europe 19th Annual Meeting Göteborg, Sweden 31 May – 4 June 2009. Protecting ecosystem health: facing the challenge of a globally changing environment; Abstract Book, p. 67 – Brussels : SETAC Europe Office, 2009.

Naturvårdsverket. (2008). Övervakning av prioriterade miljöfarliga ämnen listade i Ramdirektivet för vatten. rapport 5801 • februari 2008.

NFS: (2006). Naturvårdsverkets föreskrifter om miljörapport. www.naturvardsverket.se.

Palmquist, H. & Hanæus, J. (2005) Hazardous substances in separately collected grey- and blackwater from ordinary Swedish households. *Science of the Total Environment* 348 (2005) 151–163.

Pettersson, M. & Wahlberg, C. (2010). Övervakning av prioriterade ämnen i vatten och slam från avloppsreningsverk i Stockholm. Rapport. Nr 2010-02.

Radjenović, J., Petrović, M. & Barceló, D. (2009). Fate and distribution of pharmaceuticals in wastewater and sewage sludge of the conventional activated sludge (CAS) and advanced membrane bioreactor (MBR) treatment. *Water Research* 43(3), 831–842.

SPARC online-calculator. (2010) ARChem. <http://www.archemcalc.com/sparc.html>.

SS-EN 872:2005. (2005). Vattenundersökningar – Bestämning av suspenderade ämnen – Metod baserad på filtrering genom glasfiberfilter. Svensk standard.

Ternes, T.A., Herrmann, N., Bonerz, M., Knacker, T., Siegrist, H. & Joss, A. (2004). A rapid method to measure the solid-water distribution coefficient (K_d) for pharmaceuticals and musk fragrances in sewage sludge. *Water Research* 38(19), 4075–4084.

Zupanc, M., Kosjek, T., Petkovšek, M., Dular, M., Kompare, B., Širok, B., Blažeka, Ž. & Heath, E. (2013). Removal of pharmaceuticals from wastewater by biological processes, hydrodynamic cavitation and UV treatment. *Ultrasonics Sonochemistry* 20(4), 1104–1112.

Bilaga 1

Resultaten för 147 ämnen (och ämnesgrupperna) som analyserades vid Öresundsverket och Lundåkraverket

Ämne	SAMPLE	Öresundsverket		Lundåkraverket	
		In	Ut	In	Ut
TOC	mg/l	118	10	129	19
DOC	mg/l	51	7,2	42	8
Bensen	µg/l	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Toluen	µg/l	0,66	<0,20	0,29	<0,20
Etylbensen	µg/l	0,25	<0,20	0,35	<0,20
Xylener, summa	µg/l	1,1	<0,20	0,31	<0,20
DiBDE	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
TriBDE	µg/l	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025
TetraBDE	µg/l	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025
BDE 47	µg/l	0,0016	<0,0003	0,002	0,00036
PentaBDE	µg/l	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025
BDE 99	µg/l	0,0015	<0,0003	0,0017	0,00029
BDE 100	µg/l	0,0003	<0,0003	0,00034	<0,0003
HexaBDE	µg/l	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025
HeptaBDE	µg/l	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
OktaBDE	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
NonaBDE	µg/l	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
DekaBDE	µg/l	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Hexabromcyklododekan (HBCD)	µg/l	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
BDE 153	µg/l	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
BDE 154	µg/l	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
BDE 197	µg/l	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025
PBDE, sum 47,99,100,153,154	µg/l	0,0034	<0,0014	0,004	0,00065
Dimetylfthalat	µg/l	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Dietylfthalat	µg/l	1,1	<1,0	<1,0	<1,0
Di-n-propylfthalat	µg/l	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Di-n-butylfthalat	µg/l	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Di-isobutylfthalat	µg/l	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Di-pentylfthalat	µg/l	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Di-n-oktylfthalat	µg/l	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Di-(2-etylhexyl)fthalat (DEHP)	µg/l	8,9	<0,50	6,3	<0,50
Butylbensylfthalat	µg/l	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Di-cyklohexylfthalat	µg/l	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
4-tert-oktylfenol	ng/l	61	<10	618	52
4-tert-OF-monoetoxylat	ng/l	191	<10	326	<10
4-tert-OF-dietoxylat	ng/l	<20	<10	<10	<10
4-nonylfenoler (tekn blandning)	ng/l	2030	<90	1560	<90
4-n-nonylfenol	ng/l	<30	<10	<10	<10
4-NF-monoetoxylat	ng/l	2170	<90	<200	<90
4-NF-dietoxylat	ng/l	<150	<90	<1110	<90
4-NF ekvivalenter, summa	ngNFekv/l	3830	<114	1560	<114
Monobutyltenn	ng/l	130	14	870	62
Dibutyltenn	ng/l	<20	<1,0	<300	2,7
Tributyltenn	ng/l	<20	<1,0	<300	<1,0

Ämne	SAMPLE	Öresundsverket		Lundåkravverket	
		In	Ut	In	Ut
Hexaklorbutadien	µg/l	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Pentaklorbensen	µg/l	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Hexaklorbensen	µg/l	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
alfa-HCH	µg/l	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
beta-HCH	µg/l	<0,0020	<0,0010	<0,0010	<0,0010
gamma-HCH (lindan)	µg/l	0,0011	0,001	<0,0010	0,0011
Aldrin	µg/l	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Dieldrin	µg/l	<0,0050	<0,0010	<0,0050	<0,0010
Endrin	µg/l	<0,0050	<0,0010	<0,0050	<0,0010
Isodrin	µg/l	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
aldrin, dieldrin, endrin, isodrin, summa	µg/l	<0,0060	<0,0020	<0,0060	<0,0020
Telodrin	µg/l	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Heptaklor	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Cis-heptaklorepoxid	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Trans-heptaklorepoxid	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
alfa-endosulfan	µg/l	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
o,p'-DDT	µg/l	<0,050	<0,0050	<0,050	<0,0050
p,p'-DDT	µg/l	<0,050	<0,0050	<0,050	<0,0050
o,p'-DDD	µg/l	<0,050	<0,0050	<0,050	<0,0050
p,p'-DDD	µg/l	<0,050	<0,0050	<0,050	<0,0050
o,p'-DDE	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
p,p'-DDE	µg/l	<0,0020	<0,0010	<0,0020	<0,0010
DDT, summa	µg/l	<0,050	<0,0050	<0,050	<0,0050
Alaklor	µg/l	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100
Trifluralin	µg/l	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Triklorbensener, summa	µg/l	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015
Naftalen	µg/l	0,051	<0,010	0,049	<0,010
Acenaftylen	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Acenaften	µg/l	0,015	<0,010	0,012	<0,010
Fluoren	µg/l	0,01	<0,010	0,016	<0,010
Fenantren	µg/l	0,054	<0,010	0,072	<0,010
Antracen	µg/l	0,01	<0,010	0,01	<0,010
Fluoranten	µg/l	0,05	<0,010	0,053	<0,010
Pyren	µg/l	0,043	<0,010	0,044	<0,010
Bens(a)antracen	µg/l	0,02	<0,010	0,022	<0,010
Krysen	µg/l	0,015	<0,010	0,018	<0,010
Bens(b)fluoranten	µg/l	0,012	<0,0090	0,014	<0,0090
Bens(k)fluoranten	µg/l	<0,0090	<0,0090	<0,0090	<0,0090
summa 2 PAHer (1)	µg/l	0,012	<0,0090	0,014	<0,0090
Bens(a)pyren	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Dibenso(ah)antracen	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Benso(ghi)perylene	µg/l	<0,0060	<0,0010	<0,0060	0,0012
Indeno(123cd)pyren	µg/l	<0,020	<0,0010	<0,025	0,0011
summa 2 PAHer (2)	µg/l	<0,020	<0,0010	<0,025	0,0023
Filtrering 0,45µm; metaller					
Ca	mg/l	81,5	77,4	73,7	77,6
Fe	mg/l	0,166	0,0284	0,0835	0,0199
K	mg/l	34,1	31,3	24,8	24,2
Mg	mg/l	60	55,7	32,9	31,9
Na	mg/l	571	528	286	280
Si	mg/l	5,89	6,06	6,16	6,31
Al	µg/l	78,6	9,13	41,2	24,8
As	µg/l	1,69	<2	1,93	1,24

Ämne	SAMPLE	Öresundsverket		Lundåkravverket	
		In	Ut	In	Ut
Ba	µg/l	21	16	18,3	12,6
Cd	µg/l	0,0037	0,0084	0,0051	0,009
Co	µg/l	0,371	0,148	0,272	0,234
Cr	µg/l	0,327	0,96	0,299	0,178
Cu	µg/l	2,78	17,4	0,55	2,48
Hg	µg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Mn	µg/l	168	3,81	90,1	27,1
Mo	µg/l	0,189	1,01	0,491	2,95
Ni	µg/l	2,26	4,12	2,39	3,24
P	µg/l	3910	268	3610	92,1
Pb	µg/l	0,0424	0,0209	0,0306	0,0507
Sr	µg/l	551	501	402	393
Zn	µg/l	1,7	17,1	1,22	32,8
Aklonifen	µg/l	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Atrazin	µg/l	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Bentazon	µg/l	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Cyanazin	µg/l	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
2,4-DP (diklorprop)	µg/l	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Dimetoat	µg/l	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Diuron	µg/l	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Fenpropimorf	µg/l	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Irgarol	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Isoproturon	µg/l	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Klorfenvinfos	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Kloridazon	µg/l	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Klorpyrifos	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
MCPA	µg/l	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
MCPP (mekoprop)	µg/l	<0,050	<0,050	1	1
Metamitron	µg/l	0,07	<0,050	<0,050	<0,050
Metribuzin	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Metsulfuronmetyl	µg/l	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
Pirimikarb	µg/l	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Simazin	µg/l	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Sulfosulfuron	µg/l	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015
Tifensulfuronmetyl	µg/l	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015
Tribenuronmetyl	µg/l	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
BAM	µg/l	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Triklorfon	µg/l	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Diklorvos	µg/l	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Quinoxifen	µg/l	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Bifenox	µg/l	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Terbutryn	µg/l	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Diflufenikan	µg/l	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
PFOS	µg/l	<0,010	0,012	0,038	0,035
PFOA	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	0,012
Pentaklorfenol	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Bisfenol A	µg/l	6,2	<0,10	0,45	<0,10
Triclosan	µg/l	0,17	<0,050	0,28	0,055
Diklofenak	µg/l	0,57	0,44	0,8	0,68
Ibuprofen	µg/l	5,5	0,043	6,3	0,088
Östradiol (17beta-)	µg/l	0,054	0,017	0,097	0,011
Etinylöstradiol (17alfa-)	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010

**Resultat från 43 ämnen (och ämnesgrupper) från tabellen ovan
med resultat över detektionsgränsen i något prov.**

Ämne	SAMPLE	Öresundsverket		Lundåkravverket	
		In	Ut	In	Ut
TOC	mg/l	118	10	129	19
DOC	mg/l	51	7,2	42	8
Toluen	µg/l	0,66	<0,20	0,29	<0,20
Etylbensen	µg/l	0,25	<0,20	0,35	<0,20
Xylener, summa	µg/l	1,1	<0,20	0,31	<0,20
BDE 47	µg/l	0,0016	<0,0003	0,002	0,00036
BDE 99	µg/l	0,0015	<0,0003	0,0017	0,00029
BDE 100	µg/l	0,0003	<0,0003	0,00034	<0,0003
PBDE,sum 47,99,100,153,154	µg/l	0,0034	<0,0014	0,004	0,00065
Dietylfthalat	µg/l	1,1	<1,0	<1,0	<1,0
Di-(2-Etylhexyl)ftalat (DEHP)	µg/l	8,9	<0,50	6,3	<0,50
4-tert-oktylfenol	ng/l	61	<10	618	52
4-tert-OF-Monoetoxylat	ng/l	191	<10	326	<10
4-nonylfenoler (tekn blandning)	ng/l	2030	<90	1560	<90
4-NF-monoetoxylat	ng/l	2170	<90	<200	<90
4-NF ekvivalenter, summa	ngNFekv/l	3830	<114	1560	<114
Monobutyltenn	ng/l	130	14	870	62
Dibutyltenn	ng/l	<20	<1,0	<300	2,7
Gamma-HCH (lindan)	µg/l	0,0011	0,001	<0,0010	0,0011
Naftalen	µg/l	0,051	<0,010	0,049	<0,010
Acenaften	µg/l	0,015	<0,010	0,012	<0,010
Fluoren	µg/l	0,01	<0,010	0,016	<0,010
Fenantren	µg/l	0,054	<0,010	0,072	<0,010
Antracen	µg/l	0,01	<0,010	0,01	<0,010
Fluoranten	µg/l	0,05	<0,010	0,053	<0,010
Pyren	µg/l	0,043	<0,010	0,044	<0,010
Bens(a)antracen	µg/l	0,02	<0,010	0,022	<0,010
Krysen	µg/l	0,015	<0,010	0,018	<0,010
Bens(b)fluoranten	µg/l	0,012	<0,0090	0,014	<0,0090
summa 2 PAHer (1)	µg/l	0,012	<0,0090	0,014	<0,0090
Benso(ghi)perylene	µg/l	<0,0060	<0,0010	<0,0060	0,0012
Indeno(123cd)pyren	µg/l	<0,020	<0,0010	<0,025	0,0011
summa 2 PAHer (2)	µg/l	<0,020	<0,0010	<0,025	0,0023
MCCP (mekoprop)	µg/l	<0,050	<0,050	1	1
Metamitron	µg/l	0,07	<0,050	<0,050	<0,050
PFOS	µg/l	<0,010	0,012	0,038	0,035
PFOA	µg/l	<0,010	<0,010	<0,010	0,012
Bisfenol A	µg/l	6,2	<0,10	0,45	<0,10
Triclosan	µg/l	0,17	<0,050	0,28	0,055
Diklofenak	µg/l	0,57	0,44	0,8	0,68
Ibuprofen	µg/l	5,5	0,043	6,3	0,088
Östradiol (17beta-)	µg/l	0,054	0,017	0,097	0,011



Box 14057, 167 14 Bromma

Tel 08 506 002 00

Fax 08 506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se